# МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ – СТИМУЛ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

## MULTIMODAL TRANSPORTS – AN INCENTIVE TO IMPROVE

А.Н. ДОРОФЕЕВ, *к.т.н.*,
А.А. ИВАЩЕНКО,
Б.А. КАНАШОВ,
М.В.БАРЫШНИКОВ, *к.т.н.*
*(ООО НПФ «Сосны»)*




A.N. DOROFEYEV,
*Candidate of Technical Science,*
A.A. IVASCHENKO,
B.A. KANASHOV,
M.V. BARYSHNIKOV,
*Candidate of Technical Science*
*(R&D Company Sosny)*

**Реализация программы RRRFR позволила получить богатый опыт перевозок ОЯТ. На начало 2011 года в рамках программы вывезено более 600 кг высокообогащенного урана в составе ОТВС различных типов и конфигураций, с использованием различных транспортных средств. Таким образом, у нас есть возможность обобщить накопленный опыт подготовки и организации перевозок: выделить типы используемых упаковок и средств транспортирования, особенности их адаптации, сертификации и обеспечения безопасности, а также наметить перспективы их дальнейшего использования.**

### ЭВОЛЮЦИЯ СРЕДСТВ И МАРШРУТОВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ОТВС

К началу программы возврата топлива в Российскую Федерацию российский парк транспортных упаковочных комплектов для перевозки ОТВС ИР был, в основном, представлен российскими контейнерами ТУК-19, ТУК-32, ТУК-18, ТУК-108, ТУК-128. Причем фактически использовался только один тип – ТУК-19. Это определялось его небольшой массой (4,5 т), простотой обращения, достаточным количеством имеющихся контейнеров (их в России 20 штук) – и, соответственно, минимальными организационно-техническими мероприятиями для приемки и обращения с ними на объектах грузоотправителей.

**The implementation of the Russian Research Reactor Fuel Repatriation (RRRFR) programme has helped its participants gather massive experience of spent nuclear fuel transports. As of the beginning of 2011, within the framework of the programme more than 600 kg of highly-enriched uranium have been transported enclosed in fuel assemblies of various types and configurations and using various modes of transport. Therefore, it is now possible to generalise this experience of transport and preparations for transport by reviewing the types of packages and modes of transport that have been used, the specifics of their adaptation, certification and safety assurance, as well as make certain predictions regarding their further use.**

### EVOLUTION OF MODES AND ROUTES OF SPENT FUEL TRANSPORT

By the time of the beginning of the fuel repatriation programme, the Russian fleet of transport casks or overpacks used for research reactor spent fuel transport was primarily represented by the Russian-made TUK-19, TUK-32, TUK-18, TUK-108, and TUK-128 casks. But in fact, only one of these came to be actually used – the TUK-19. This was attributable to the cask's small weight (4.5 tonnes), ease of handling, availability of a sufficient number of these casks (there are 20 of these in Russia) – and, accordingly, mini-



Рис. 1. Погрузка контейнеров ТУК-19 на автомобиль (1) и в вагон-контейнер ТК-5 (2)
*Fig. 1. Loading of TUK-19 overpack onto a motor vehicle (1) and into the TK-5 rail wagon (2)*

Первый опыт перевозки по программе RRRFR был получен в 2006 году при вывозе ОЯТ из Узбекистана. ОТВС транспортировались в ТУК-19 традиционным способом – по железной дороге в вагонах-контейнерах ТК-5. Перевозка между исследовательским институтом и железнодорожной станцией осуществлялась автомобилем в специально для этого изготовленных рамах из металлического уголка. Аналогичные схемы были применены при транспортировании ОТВС из Латвии (2008 год) и Казахстана (2008–2009 годы). В каждом случае автомобильная перевозка контейнеров ТУК-19 требовала разработки специальных технических средств (указанных выше рам, см. рис. 1), которые не были универсальными и исключали возможность дальнейшего использования в других проектах.

Очевидно, что использование одного типа контейнера в столь масштабной программе, как RRRFR, было бы недостаточным. Специально для целей программы Министерством энергетики США было профинансировано создание 16 ТУК SKODA VPVR/M, спроектированных и изготовленных в Чехии.

Иностранный контейнер для перевозки ОЯТ использовался в России впервые. Для использования ТУК SKODA VPVR/M в перевозках ОТВС ИР в Российской Федерации был получен сертификат на конструкцию упаковки и перевозку, а также адаптирована технология приемки этого контейнера на ФГУП «ПО «Маяк»[1].

Контейнер SKODA VPVR/M был приспособлен к мультимодальным перевозкам изначально: его проект предусматривал перевозку контейнера в грузовом 20-футовом ISO-контейнере (рис. 2), обращение с которым унифицировано практически на всех видах транспорта.

С использованием чешских контейнеров SKODA VPVR/M в 2007 году было вывезено облученное топливо из Института ядерных исследований в городе Ржеже (Чешская Республика)[2]. ОТВС в 16 ТУК SKODA VPVR/M, попарно упакованных в восьми ISO-контейнерах, были перевезены автотранспортом до железнодорожной станции и по железной дороге транзитом через территории Словакии и Украины доставлены на российский радиохимический завод (рис. 3). Аналогичная схема использовалась при транспортировании ОТВС ИР из Украины[3].

При вывозе ОТВС из Болгарии в 2008 году был получен первый опыт транспортирования чешских контейнеров SKODA VPVR/M водным транспортом. Контейнеры

Рис. 3. Транспортирование ISO-контейнеров автомобильным транспортом / *Fig. 3. Transportation of ISO-containers by truck*


Рис. 2. Размещение контейнера SKODA VPVR/M в ISO-контейнере
*Fig. 2. The SKODA VPVR/M placed inside the ISO-container*

mal administrative and technical measures required to be implemented to enable handling of this cask at the shipper sites.

The first experience of fuel transport under the RRRFR programme was obtained in 2006 in Uzbekistan. The spent fuel assemblies (SFAs) were transported inside the TUK-19 using the traditional method – i.e. by rail in TK-5 wagons. The shipment between the research institute site and a rail station was by automobile, with the casks enclosed in specifically made frames of steel angle bar. Similar methods were used for SFA shipments from Latvia (2008) and Kazakhstan (2008–2009). In each particular case, the transport of the TUK-19 by a motor vehicle required the preparation of special accessories (such as the frames referenced above, see fig. 1), which were not multi-purpose and could not be further used in other projects.

Obviously, it was not sufficient to use only one overpack type for as large-scale a programme as the RRRFR. Specifically for the purposes of this programme, the United States Department of Energy provided the funding for the creation of 16 SKODA VPVR/M casks, designed and built in the Czech Republic.

It was the first instance when a foreign-made cask was being used in Russia to SNF transportation. In order to be able to use the SKODA VPVR/M overpack for research reactor SFAs transport into the Russian Federation, a certificate for the overpack design and its transport process was obtained, as well as certain upgrades implemented at Mayak to adapt its facilities to the receipt and handling of this overpack[1].

The SKODA VPVR/M overpack was intrinsically suitable for multi-modal transports: it was designed to be transported inside the 20-foot ISO cargo container (fig. 2), which can be handled by practically all modes of transport.

The Czech-made SKODA VPVR/M casks were used in 2007 to transport the irradiated fuel from the Nuclear Research Institute in Rez (in the Czech Republic)[2]. The SFAs were packaged into 16 SKODA VPVR/M casks, which were in their turn loaded in pairs into eight ISO-

Рис. 4. Датское судно / *Fig. 4. The Danish ship*

SKODA VPVR/M с ОТВС были перевезены из исследовательского института ИЯИЯЭ в речной порт Козлодуй на автомобилях и перегружены на баржу типа «река-море». По реке Дунаю контейнеры были доставлены в украинский порт Измаил, откуда по железной дороге перевезены на российский перерабатывающий завод[4].

В некоторых проектах из-за сложностей реализации транзита единственно возможной является морская перевозка. Морской транспорт впервые в программе RRRFR использовался в 2008 году при вывозе ОЯТ Будапештского исследовательского реактора из института KFKI AEKI[5].

Морской участок маршрута был реализован с использованием датского судна «Lynx» (рис. 4) класса INF-2, оснащенного в соответствии с требованиями Международного кодекса по безопасной перевозке отработавшего ядерного топлива, плутония и высокорадиоактивных отходов в таре на судах (Кодекса ОЯТ). Поскольку большая часть морского пути протекала вне российских территориальных вод, в российском сертификате-разрешении было поставлено условие об использовании международных аварийных карт в соответствии с требованиями правил Международного кодекса морской перевозки опасных грузов. Особое внимание уделялось вопросу передачи ответственности за физзащиту; российскими специалистами была специально разработана и утверждена соответствующая процедура.

ОТВС в контейнерах SKODA VPVR/M, упакованных в ISO-контейнеры, были доставлены из исследовательского института до венгерской железнодорожной станции автотранспортом, где были перегружены на железнодорожные платформы. По железной дороге ISO-контейнеры были перевезены в словенский порт Копер (рис. 5). Морской участок маршрута проходил вокруг Европы до порта Мурманска, откуда ISO-контейнеры были доставлены на радиохимический завод по железной дороге. Все перегрузочные операции с контейнерами и в России, и за рубежом прошли без каких бы то ни было инцидентов. Аналогичная транспортно-технологическая схема использовалась при вывозе ОЯТ из Сербии в декабре 2010 года[6].

В рамках проекта по вывозу ОТВС румынского реактора ВВР-С в 2009 году была решена задача унификации транспортно-технологических операций с контейнерами ТУК-19 путем создания транспортного пакета на основе специализированного грузового крупнотоннажного 20-футового контейнера[7]. Контейнеры ТУК-19, загруженные ОТВС и упакованные в ISO-контейнеры, были перевезены автотранспортом в румынский аэропорт, по-

containers, which were them delivered by motor vehicles to a rail station and then by rail via Slovakia and Ukraine to a radiochemical facility in Russia (fig. 3). A similar method was applied for transportation of research reactor SFAs from Ukraine[3].

During the delivery of SFAs from Bulgaria in 2008, the first experience of SKODA VPVR/M overpacks by water was obtained. The SKODA VPVR/M casks containing the SFAs were transported from the Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy in Sofia to the Kozloduy river port by trucks and then transferred onto the 'river-or-sea' barges. Then the casks were delivered by the river Danube to the Ukrainian port of Izmail, from where by rail they were further taken to the Russian reprocessing facility[4].

In some projects, due to difficulties with transit via third countries, transport by sea was the only option available. Sea transport was used in the RRRFR programme for the first time in 2008 for shipment of spent fuel from the Budapest research reactor at the KFKI AEKI institute[5].

The sea transport of the cargo was effectuated by the Danish Lynx vessel (see fig. 4), class INF-2, equipped in accordance with the requirements of the International Code for the safe carriage of packaged Irradiated Nuclear Fuel (INF), plutonium and high-level radioactive waste in flasks on board ships (the Spent Fuel Code). As most of the travel route by sea was outside of the Russian territorial waters, the Russian certificate-permit included a condition whereby international accident maps had to be used in accordance with the requirements of the International Maritime Dangerous Goods Code. Particular attention was paid to the aspect of when the responsibility for physical protection would be handed over; the Russian specialists had developed and approved a dedicated procedure for that purpose.

The SFAs inside the SKODA VPVR/M overpacks, loaded into the ISO-containers, were delivered from the research institute to a Hungarian rail station by automobile transport, where they were transferred onto rail transporters. By rail, then, the ISO-containers were taken to the Slovenian port of Koper (fig. 5). Further travel by sea was around Europe to the Russian port of Murmansk, where the ISO-containers were transferred onto rail transport again and thus delivered to the radiochemical facility. All handling and transfer operations with the casks both in Russia and abroad were completed successfully without any incidents whatsoever. A similar scheme was used for repatriation of spent fuel out of Serbia in December 2010[6].

Within the framework of the Romanian VVR-S reactor spent fuel repatriation project in 2009, unification of the transport and handling operations with the TUK-19 overpack was finally achieved by incorporating them into a transport package based on the specialised heavy-duty 20-foot cargo container[7]. The TUK-19 casks, loaded with fuel assemblies and packaged into the ISO-containers, were delivered by automobile transport to a Romanian airport, and then a plane successfully took them to the Koltsovo airport, located reasonably close to the Mayak plant. The AN-124-100 aircraft was used for this transport, which is certified for transport of class 7 cargoes (fig. 6). The trip from the Koltsovo airport to the radiochemical facility was by automobile. A similar transport arrangement, including

Рис. 5. Транспортирование ISO-контейнеров по железной дороге
*Fig. 5. Transportation of ISO-containers by rail*


Рис. 6. Транспортные пакеты с ТУК-19, загруженные в грузовой отсек самолета АН-124-100 «Руслан»
*Fig. 6. Transport packages with TUK-19, loaded into the cargo compartment of the AN-124-100 Ruslan aircraft*

сле чего самолет благополучно доставил их в аэропорт «Кольцово», расположенный сравнительно недалеко от ПО «Маяк». Для авиаперевозки использовался самолет АН-124-100, сертифицированный для перевозки грузов класса 7 (рис. 6). Из аэропорта «Кольцово» до радиохимического завода транспортные пакеты были транспортированы автомобильным транспортом. Аналогичная транспортная схема с использованием воздушного транспорта была применена при транспортировании ОТВС из Ливии[8] и планируется при вывозе ОЯТ из Вьетнама.

В реализации программы RRRFR были также задействованы возможности и российского морского перевозчика. В январе 2008 года в ЦНИИ им. академика Крылова начались работы по подготовке проекта переоборудования судна проекта JS86-063. После разработки и утверждения проекта на эстонской судоверфи Netaman Oy под наблюдением местных представителей Российского морского регистра судоходства теплоход был переоборудован (рис. 7), сертифицирован по классу INF-2 и использован при вывозе ОЯТ из Польши в 2009-2010 годах.

Для вывоза ОТВС польских реакторов потребовалось пять рейсов. Маршрут включал в себя автомобильный участок от исследовательского института до железнодорожной станции, затем поездом до польского порта Гдыни, морской участок вокруг Скандинавии до российского порта Мурманска, и по территории России до радиохимического завода – на железнодорожных платформах[9].

Таким образом, до 2008 года при перевозках ОТВС в рамках программы RRRFR использовались только автомобильный и железнодорожный транспорт, с 2008 года начались речные и морские перевозки, а с 2009 года – воздушные.

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ

В 2009 году начаты работы по разработке упаковки типа С на базе контейнера SKODA VPVR/M для воздушной перевозки. В отличие от упаковки типа В, сертифицированной для воздушной перевозки, на такую упаковку не накладывается дополнительных ограничений по радиоактивности груза, не требуется загружать ОТВС в герметичные пеналы, однако конструкция ТУК должна удовлетворять требованиям по сохранению прочности и герметичности при ужесточенных испытаниях. В настоя-

air transport, has been used for transportation of SFAs from Libya[8] and is expected to be used for spent fuel repatriation from Vietnam.

The RRRFR programme has also involved the Russian sea transport capability. In January 2008, the Krylov Shipbuilding Research Institute started the design effort to re-fit a JS86-063 motor ship. After the development and approval of the design package, the vessel was re-fitted at the Estonian Netaman Oy shipyard under the supervision of the local representatives of the Russian Registrar of Shipping (fig. 7). The ship, now certified as class INF-2, has been since used for spent fuel transports from Poland in 2009-2010.

It took a total of five trips in order to move all the SFAs from the Polish reactors. The travel included an automobile section from the research institute to a rail station, then by rail to the Polish port of Gdynia, then a sea route around Scandinavia to the Russian port of Murmansk and an overland rail trip through the Russian territory to the radiochemical facility[9].

Therefore, until 2008, SFAs transports within the framework of RRRFR programme only utilised automobile and rail transport, with transports by river and sea beginning in 2008, and air transports following in 2009.

### PROSPECTIVE CASKS

In 2009, work started to develop a class C package on the basis of the SKODA VPVR/M overpack, suitable for transport by air. Unlike the class B packages that can also be certified for air transport, class C packages do not have any additional radioactivity level limitations imposed, and there is not requirement for the SFAs to be loaded into leak-tight canisters, but the package must be demonstrated to ensure observance of strict structural strength and leak-tightness criteria through extensive testing. Currently in the world there are no spent fuel casks certified for observance of the safety requirements to class C packages.

Preliminary assessments of whether the SKODA VPVR/M overpacks could be upgraded to a class C package were performed by VNIIEF, the Russian the Research Institute of Experimental Physics. The currently consid-



Рис. 7. Трюм российского судна проекта JS86-063 после переоборудования: дополнительная переборка (1) загрузка ISO-контейнеров и плит биологической защиты (2) / *Fig. 7. Hold of the Russian-design JS86-063 vessel after re-fitting: additional bulkhead (1); loading of ISO-containers and shielding plates (2)*

щее время в мире отсутствуют контейнеры для ОЯТ, сертифицированные на соответствие требованиям безопасности, предъявляемым к упаковкам типа С.

Предварительные оценки возможности модификации контейнеров SKODA VPVR/M для создания на их базе упаковки типа С выполнены экспертами ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Рассматриваемая в настоящее время модификация конструкции контейнера SKODA VPVR/M предусматривает увеличение эффективности системы демпфирования за счет помещения контейнера в защитно-демпфирующий кожух (ЗДК). В настоящее время определены уровни предельных перегрузок, которые должна ограничить система демпфирования при механических воздействиях. Рассмотрены технические характеристики средств транспортирования применительно к возможным схемам перевозки упаковки типа С. Произведена оценка характеристик динамической защиты, исходя из транспортных ограничений при использовании различных транспортно-технологических схем. Осуществлен выбор конструкции ЗДК.

Натурные модельные испытания макетов модифицированных элементов ТУК на столкновение с мишенью при скорости 90 м/с, требуемые для сертификации упаковок типа С, будут в ближайшее время проведены на базе ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». В случае успешного завершения работ будет получено универсальное техническое средство для воздушной перевозки делящихся материалов без дополнительных ограничений по активности или форме радиоактивного содержимого.

***

Программа RRRFR явилась катализатором для совершенствования контейнерного парка, разработки оборудования для загрузки ОТВС в контейнеры, использования новых транспортных средств и маршрутов.

Накопленный опыт мультимодальных перевозок и разработанные технические решения значительно расширили возможности перевозок ОЯТ и в настоящее время успешно применяются при реализации программы RRRFR. Этот опыт носит универсальный характер и может быть использован в любых других проектах, связанных с обращением с ядерным топливом исследовательских реакторов и другими компактными радиоактивными материалами.

ered modification of the original SKODA VPVR/M design envisages increased effectiveness of the shock absorbing system through placement of the cask inside a protective envelope. Currently, the levels of bounding overloads that the shock-absorbing system must ensure when subjected to mechanical impacts have been determined. Technical characteristics of various means of transport have been considered applicable to the various transport arrangements for the class C package. An evaluation of dynamic protection characteristics has been made based on the transport limitations that apply to various transportation and handling schemes. The basic design of the protective envelope has been selected.

Field dummy tests of simulated overpack components in collision with a target moving 90 metres/sec, which is required for certification of class C packages, are scheduled to be performed in the nearest time at the VNIIEF Research Institute of Experimental Physics. In case of successful completion, the efforts will result in the creation of a multipurpose piece of equipment suitable for air transport of fissile materials without additional limitations on the activity levels or form of radioactive contents.

***

The RRRFR programme has become the driving force for further advancement of the fleet of casks, development of new equipment for SFAs loading, utilisation of new transport vehicles and routes.

The available experience of multi-modal transports and the developed technical solutions have vastly expanded the capabilities of spent fuel transport and are currently successfully being used for further implementation of the RRRFR programme. This experience is quite versatile in that it can be used for other projects associated with the management of research reactors spent fuel and other compact radioactive materials.

[1] См. с. 36-40 / See pages 36-40
[2] См. с. 40-43 / See pages 40-43
[3] См. с. 90-95 / See pages 90-95
[4] См. с. 46-51 / See pages 46-51
[5] См. с. 52-55 / See pages 52-55
[6] См. с. 98-100 / See pages 98-100
[7] См. с. 72-76 / See pages 72-76
[8] См. с. 82-83 / See pages 82-83
[9] См. с. 77-81 / See pages 77-81